



EESTI MAAÜLIKOOL
Metsandus- ja maaehitusinstituut

Doris Silm

**HARILIKU MÄNNI (*PINUS SYLVESTRIS* L.) MAAPEALNE JA
MAA-ALUNE BIOMASS NING SELLESSE SEOTUD
SÜSINIKUVARU MUSTIKA KASVUKOHATÜÜBIS**

**ABOVE- AND BELOW-GROUND BIOMASS OF SCOTS PINE
(*PINUS SYLVESTRIS* L.) AND CARBON STORAGE IN TREES
IN *MYRTILLUS* SITE TYPE**

Magistritöö
Metsamajanduse õppekava

Juhendajad: professor Veiko Uri, *PhD*
teadur Mats Varik, *PhD*

Tartu 2018

Eesti Maaülikool		Magistritöö lühikokkuvõte	
Kreutzwaldi 1, Tartu 51006			
Autor: Doris Silm		Õppekava: Metsamajandus	
Pealkiri: Hariliku männi (<i>Pinus sylvestris</i> L.) maapealne ja maa-alune biomass ning sellesse seotud süsinikuvaru mustika kasvukohatüübis			
Lehekülgi: 28	Jooniseid: 4	Tabeleid: 5	Lisasid: -
Õppetool:		Metsakasvatus ja metsaökoloogia	
ETIS-e teadusvaldkond ja CERC S-i kood:		Metsandusteadus B430	
Juhendajad:		Veiko Uri, Mats Varik	
Kaitsmiskoht ja -aasta:		Tartu 2018	
<p>Maailma metsadel on oluline roll kliimamuutuste leevendajana. Kuigi männikute biomassi kohta on tehtud mitmeid uurimustöid on vähestes neis uuritud lisaks maapealsele biomassile ka maa-alust biomassi. Käesoleva magistritöö eesmärgiks oli hinnata keskealise mustikamänniku nii maapealset kui ka maa-alust biomassi ja sellesse seotud süsinikuvaru.</p> <p>Puistu maapealse biomassi hindamiseks kasutati mudelpuude meetodit. Maa-aluse biomassi uurimiseks kaevati välja kolme mudelpuu juurestikud. Välitööd viidi läbi 2017. aasta sügisel Põlvamaal 35-aastases mustikamännikus. Puistu biomassis akumuliseerunud süsiniku kogus arvutati erinevate fraktsioonide süsinikusisalduse põhjal.</p> <p>Uuritud puistu maapealse osa biomass oli 132,3 t ha⁻¹ ja maa-alune 24,9 t ha⁻¹. Leitud keskmine aastane tüvemassi juurdekasv oli 6,6 m³ ha⁻¹, mis on heas kooskõlas varasemate uurimustulemustega. Maa-aluse ja maapealse biomassi suhtarv oli 0,19. Antud puistus puude biomassis talletunud süsiniku varud olid kokku 74,7 t ha⁻¹. Keskmine aastases puistu maapealses ja maa-aluses produktsioonis seotud süsiniku kogus oli 3,2 t ha⁻¹ ja 0,3 t ha⁻¹.</p>			
Märksõnad: maapealne biomass, maa-alune biomass, maa-aluse ja maapealse biomassi suhe, süsinikuvaru, <i>Pinus Sylvestris</i>			

Estonian University of Life Sciences Kreutzwaldi 1, Tartu 51006		Abstract of Master's Thesis	
Author: Doris Silm		Curriculum: Forest Management	
Title: Above- and below-ground biomass of Scots pine (<i>Pinus sylvestris</i> L.) and carbon storage in trees in <i>Myrtillus</i> site type			
Pages: 28	Figures: 4	Tables: 5	Appendixes: -
Chair:		Silviculture and Forest Ecology	
Field of research and (CERC S) code:		Forest Sciences B430	
Supervisors:		Veiko Uri, Mats Varik	
Place and date:		Tartu 2018	
<p>World's forests have an important role in mitigating climate change. Although many research papers have been published about the biomass of pine stands, only a few of them include both aboveground biomass as well as below-ground biomass. The aim of this Master's Thesis was to study above- and below-ground biomass in a middle-aged pine stand growing in a <i>Myrtillus</i> site type and to estimate the accumulated carbon in its biomass.</p> <p>The model tree method was used to study the aboveground biomass. The roots of three model trees were excavated for the below-ground biomass estimation. Field work was conducted in a 35-year old stand in Põlva county in the autumn of 2017. Based on the carbon content of measured samples the amount of accumulated carbon in the biomass was calculated.</p> <p>The aboveground biomass of the studied stand was 132.3 t ha⁻¹ and the below-ground 24.9 t ha⁻¹. The mean annual increment of stem biomass was 6.6 m³ ha⁻¹, which fits well with previous studies. The calculated root to shoot ratio was 0.19. The total amount of accumulated carbon in the trees biomass was 74.7 t ha⁻¹. The annual carbon accumulation was estimated to be 3.2 t ha⁻¹ in the above ground biomass and 0.3 t ha⁻¹ in the below-ground biomass of trees.</p>			
Keywords: below-ground biomass, root to shoot ratio, carbon storage, <i>Pinus sylvestris</i>			

SISUKORD

SISSEJUHATUS	5
1. TEOREETILINE ÜLEVAADE	7
2. MATERJAL JA METOODIKA.....	10
3. TULEMUSED JA ARUTELU	12
3.1. Mudelpuude biomassi jaotus	12
3.2. Puistu maapealne ja maa-alune biomass	13
3.3. Mudelpuude maa-aluse ja maapealse biomassi suhtarve	16
3.4. Puistus talletunud süsiniku varud	18
KOKKUVÕTE	20
VIIDATUD ALLIKAD	21
LISAD	27
Lisa 1. Lihtlitsents lõputöö salvestamiseks ja üldsusele kättesaadavaks tegemiseks ning juhendajate kinnitus lõputöö kaitsmisele lubamise kohta	28

SISSEJUHATUS

Kliimamuutused on tänapäeval üks olulisemaid ning aktuaalsemaid globaalseid keskkonnaprobleeme (Walther *et al.* 2002; Parmesan, Yohe 2003; Jansson *et al.* 2015). Üheks kliimamuutuste põhjustajaks peetakse kasvuhoonegaase (KHG), mille aastased emissioonid atmosfääri on järjepidevalt kasvanud (Meinshausen *et al.* 2009; WMO 2017), neist süsihappegaas (CO₂) moodustab ligi 80% iga-aastasest KHG globaalsest heitmest (Victor *et al.* 2014). Kui aastal 1700 hinnati süsiniku kontsentratsiooniks atmosfääris 280 ppm'i (*parts per million*), siis tänaseks on see kasvanud ligi 40%, 403 ppm'ni (WMO 2017). Eestis moodustab antropogeenne CO₂ heide 90,3% summaarsest kasvuhoonegaaside emissioonist (Greenhouse gas... 2015).

Kliimamuutustega võitlemiseks on vastu võetud mitmeid rahvusvahelisi leppeid, näiteks ÜRO kliimamuutuste raamkonventsioon (UNFCCC) ja Kyoto protokoll. Nende ratifitseeritud lepete osana, aga samuti ka Euroopa Liidu eeskirja No 525/2013 põhjal on Eestil kohustus inimtekkeliste KHG emiteerimise ja sidumise üle arvet pidada ning igal aastal ka vastavaid tulemusi raporteerida. Eestis koostatakse KHG inventuure alates 1994. aastast. Seiret viiakse läbi viies valdkonnas: energeetika; tööstusprotsessid; maakasutus, maakasutuse muutus ja metsandus (*land use, land-use change and forestry* – LULUCF); põllumajandus ning jäätmed. Peamiseks kasvuhoonegaaside sidujaks on LULUCF sektor ja enim heitmeid on pärit energiasektorist. (Report pursuant... 2017)

LULUCF sektor koosneb kuuest maakasutusklassist: metsamaa, põllumaa, rohumaa, märgalad, asustusalad ja muud maad (Kliimapoliitika põhialused... 2016). Peamiseks süsiniku talletajaks on metsad, nende juurdekasvust, majandamisvõtetest ning ka looduslikest häiringutest (tulekahjud, tormid) sõltub süsiniku sidumine või emiteerimine. Maailma metsad kasvavad ligi 4 miljardil hektaril (World Bank 2018) ja hinnanguliselt on neis talletatud umbes 80% maapealsest ja 40% maa-alusest süsinikuvarust (Dixon *et al.* 1994). Erinevate allikate kohaselt võib puude käändudesse ja jämejuurtesse olla seotud 10–45% puude süsinikuvarust (Santantonio *et al.* 1977; Fogel 1983; Helmisaari *et al.* 2002; Xiao *et al.* 2003; Green *et al.* 2007).

Mõistmaks paremini metsade rolli kliimamuutuste leevendajana on olulised puistute biomassi ning süsinikuringe uuringud (Dixon *et al.* 1994; Cairns *et al.* 1997). Kui metsade maaapealse biomassi kohta on tehtud üsna ulatuslikke uurimusi, siis maa-alune biomass on siiani väheuuritud valdkond (Cairns *et al.* 1997; Varik *et al.* 2013), mis on põhjustatud selliste uuringute metoodilisest keerukusest ja töömahukusest. Piisava täpsusega andmete allikaks on otsesed empiirilised meetodid nagu näiteks juurestike väljakaevamine, mis paraku on kallis ja destruktiivne meetod (Ravindranath, Ostwald 2008; Addo-Danso *et al.* 2016). Seetõttu kasutatakse maa-aluse biomassi leidmiseks vastavate mudelite asemel sageli maaapealse ja maa-aluse biomassi suhet (*root to shoot ratio*). Kuid mitmed biootilised (taime geneetika, puistu vanus) ja abiootilised (mulla tekstuur, vee ja toitainete sisaldus) faktorid mõjutavad antud suhte väärtust oluliselt (Cairns *et al.* 1997). Juurte biomassi mudelite kasutamine on sobilik spetsiifilistel kasvukohtadel, kuid ei ole praktiline laial ajalisel ja ruumilisel skaalal (Mokany *et al.* 2006). Usaldusväärsete tulemuste saamiseks on maa-aluse ja maaapealse suhte kasutamise eelduseks see, et kasutatav suhtarv on iseloomulik uuritavale puistule (Snowdon *et al.* 2000). IPCC (2006) juhendmaterjal on boreaalses kliimavöötmes noortes okaspuumetsades maa-aluse ja maaapealse biomassi suhteks määratud 0,39 ja küpsetes 0,24. Liepiņš *et al.* (2018) leidsid, et isegi kliimavöötmele vastavaid suhtarve kasutades on tulemuseks noorte puistute, eriti hariliku männi ja hariliku kuuse, maa-aluse biomassi ülehindamine. Sellepärast on oluline kasutada riigi- ja puistuspetsiifilisi väärtusi maa-aluse biomassi leidmiseks.

Käesoleva töö eesmärgiks oli uurida keskealise mustikamänniku biomassi ja selles talletatud süsinikuvaru. Suurem rõhk oli maa-aluse biomassi uurimisel, kuid hinnati ka maaapealset biomassi. Eestis on seni puistu maa-alust biomassi uuritud näiteks lepikutes (Uri *et al.* 2002, 2009; Aosaar *et al.* 2013), arukaasikutes (Varik *et al.* 2013) ja sookaasikutes (Uri *et al.* 2017). Maailmas on männikute maa-alust biomassi on uurinud näiteks Gower *et al.* 1994; Vanninen *et al.* 1996; Helmisaari *et al.* 2002; Xiao *et al.* 2003; Bārdulis *et al.* 2012; Liepiņš *et al.* 2018 ja Kenina *et al.* 2018, kuid Eestis on vastavasisulisi uurimusi väga napilt (Külla 1997; Kurvits 1999; Karu 2005). Tänu oma heale kohanemisvõimele on harilik mänd enim levinud puuliik Eestis (Aastaraamat Mets... 2017), kuid seetõttu erinevatel muldadel ka väga erineva juurestikuga.

1. TEOREETILINE ÜLEVAADE

Harilik mänd (*Pinus sylvestris* L.) on laialt levinud puuliik nii Euroopas kui Aasias (Knight *et al.* 1994). Harilik mänd on kohastunud kasvaks erinevates keskkonnatingimustes – ta suudab kasvada nii kuivadel õhukestel muldadel, toitainevaestel turvasmuldadel kui ka liigniiskel pinnasel (Schoettle, Fahey 1994; Laas 2004; Seemen, Jäärats 2014), saviliivmuldadel moodustuvad nad kõrge tootlikkusega männi puhtpuistud (Sibul 2014). Põhiliseks kasvu limiteerivaks faktoriks enamusel kasvukohtadest on toitainete, sealhulgas lämmastiku vähesus (Knight *et al.* 1994, Tullus 2014). Mänd on valgusnõudlik puuliik, mille kiire kasv annab eelise valgusressursi püüdmiseks ning hästi arenenud juurestik vee ja toitainete omandamiseks (Dougherty *et al.* 1994). Iseloomulikuks on ka võimekus alustada kasvu üsna madala temperatuuri juures (Vapaavuori *et al.* 1992).

Harilik männi tüvi on kõrgelt laasunud ja väikese koondega. Tüve alumine osa on kaetud paksu hallikaspruuni korbaga ja ülemise osa koor on punakasoranž ja kestendav (Sibul 2014). Harilik mänd on suure majandusliku tähtsusega – oma pika oksavaba tüve tõttu on ta Eesti tingimustes parim ehituspuid (Pikk, Kask 2014). Samuti on männi puidul head mehaanilised omadused – see on hästi lõhestatav, töödeldav ja kuivatav (Saarman, Veibri 2006).

Männi võra kujuneb vastavalt konkurentsile puistus ja valgustingimustele (Tullus 2014), kuid on reeglina kitsas, oksad peened ja lühikesed. Vanemas eas muutuvad võra oksad jämedamaks ja võra poolkerajaks või vihmavarjutaoliseks (Sibul 2014). On täheldatud tendentsi, et geograafiliselt põhja suunas on mändide võrad kitsamad ja männipuistud on hõredamad. Üheks põhjuseks on suurem lumekoormus okstel, mistõttu on kujunenud läbi loodusliku valiku kitsavõralised puud (Tullus 2014).

Juurte põhiülesandeks on taime kinnitamine mulda ja tema varustamine toitainetega. Puude maa-alune struktuur on liigispetsiifiline tunnus (Sutton 1980), kuid juurestiku arengut mõjutavad ka mulla mehaaniline koostis, struktuur ja õhustatus (Dewar *et al.* 1994). Samuti mängivad rolli põhjaveetase, toitainete kättesaadavus ja muud tegurid (Eissenstat, Rees

1994). Geneetikal ja keskkonnateguritel on oluline mõju taimede juurestiku arengule. Mõned tunnused avalduvad erinevates keskkonnatingimustes sarnaselt, teised on suurel määral mõjutatud faktoritest nagu toitainete sisaldus mullas, veerežiim jms (Sinnot 1960). Tõhus juurte süsteem omastab vett ja toitaineid nii, et optimaalsetes tingimustes tagaks maa-aluses biomassis kasutuses olev süsinik suurima tulu vee ja toitainete omandamise osas (Eissenstat, Rees 1994).

Männile on iseloomulik plastiline juurestik, mis sügavatel, värsketel liivmuldadel moodustab tugeva sammasjuure ja rohkesti külgsuuri (Sibul 2014). Horisontaaljuured paiknevad ülemises 25–30 cm paksuses kihis, kus on enim toitaineid (Laas 1987; Jackson *et al.* 1996; Kalliokoski *et al.* 2008). Kehvematel toitainevaestel liivmuldadel jääb sammasjuur lühikeseks ning moodustub maapinnalähedane juurestik. Kui liivmuldadel võib jämedate juurte pikkus olla kuni 3 m (Küllä 1997), siis savimuldadel ei hargne juurestik tavaliselt laiemalt kui võra. Seetõttu esineb soodsamatel kasvukohtadel pigem tormimurdu ja pindmise juurestikuga puistutes tormiheidet (Laas 1987). Noortel mändidel võib juurestik moodustada 50% ja vanematel umbes 20% tüve kogumahust. Tavaliselt on känd suurima osakaaluga juurestiku massist, millele järgnevad jämedad tugi- ja juhtjuured (Bärdulis *et al.* 2012). Juurte kõige pikema osa moodustavad peenjuured (Eissenstat, Rees 1994).

Harilik mänd on lülipuiduline puuliik, mille tüves on eristatav heledama värvusega välisosa – maltspuit ja tumedam siseosa – lülipuit. Samuti on hästi eristatavad aastarõngad (Sibul 2014). Maltspuit koosneb vedelikke juhtivatest rakkudest, mida iseloomustab kollakas- või punakasvalge toon. Lülipuit koosneb surnud rakkudest ja selle moodustumine algab 30–40 aastase tüve alumises osas säsi kõrvalt, kust levib see puidus edasi (Pikk, Kask 2014).

Männi juurte puit on tüve puidust erineva ehitusega. Juurte südamikus puudub säsi, samuti ei teki lülipuitu. Hilispuit on nõrgemini välja arenenud, mistõttu on aastarõngaste määramine keeruline. Samuti on juurtel parem võime sünteesida vaike tänu suuremale parenhüüm-rakkude sisaldusele. Kuna männijuurte puit on väiksema tihedusega, on ka nende füüsikalised-mehaanilised omadused nõrgemad. Juurte puidu kõvadus ja survetugevus on ligikaudu 15–20% madalam kui tüvel. (Ванин 1949 ref Pikk, Kask 2014)

Männi enamusega puistute pindala moodustab Eestis ligi 30% majandatavast metsamaast (Aastaraamat Mets... 2017), männikuid leidub kõige rohkem Lääne-Eesti saartel, mandri

loode- ja põhjaosas ning Kagu-Eestis (Sibul 2014). Eestis kasvab palumetsi 639 000 hektaril, mis moodustab 23% metsamaast (Aastaraamat mets... 2017).

Palumetsadel eristatakse pohla ja mustika kasvukohatüüpe, mis levivad liivastel, kuivadel kuni kohati liigniisketel muldadel ja neil on hästi välja kujunenud samblarinne. Enamuspuuliigiks on tavapäraselt mänd, mis moodustab I kuni III boniteediklassi puistuid. Kasvukohatüübi nimetus tuleneb pohlast (palukast), samuti on niiskematel aladel tüüpiline mustika esinemine puhmarindes. Rohttaimi leidub vähe, võib kasvada kilpjalga, võnk-kastevart, noorendikes ja raiesmikel ka sinihelmikat. (Lõhmus 2004)

2. MATERJAL JA METOODIKA

Käesolev uurimistöö põhineb andmetel, mis on kogutud 35-aastasest hariliku männi puistust (tabel 1) Põlvamaalt, Räpina vallast (endine Veriora vald). Prooviala asus Põlvamaa metskonna kvartalil IM014.

Tabel 1. Uuritud männiku peamised takseernäitajad

Keskmine rinnasdiameeter, cm	15,9
Keskmine kõrgus, m	17,2
Rinnaspindala, m ² ha ⁻¹	30,7
Puistu tihedus, puud ha ⁻¹	1552
Boniteet	I

Käesolev magistritöö on valminud osana projektist „Eesti puistute biomassi mudelite väljatöötamine“. Antud töö autor osales nii väli- kui ka laboritöödel. Välitööd viidi läbi 2017. aasta sügisel, kui vegetatsiooniperiood oli lõppenud ja puude biomass saavutanud aastase maksimumi. Puistu biomassi hindamiseks kasutati mudelpuude meetodit (Bormann, Gordon 1984; Lõhmus *et al.* 1996; Uri *et al.* 2012). Mudelpuude meetod on väga töömahukas, kus valitud mudelpuude arv on kompromiss panustatud tööhulga ning tulemuste täpsuse vahel (Anniste 1997).

Uurimisalale rajati proovitükk mõõtmetega 25 x 25 meetrit, millel teostati ülepinnaline klappimine. Puistu keskmise kõrguse leidmiseks mõõdeti 15 puu kõrgus. Proovialal leidus üksikuid arukaski ja harilikke kuuski, kuid nende osatähtsus puistu tagavarast oli väike, mistõttu pole nende andmeid töös esitatud. Proovitükil asuvate puude rinnasdiameetri jaotuse põhjal valiti välja kolm mudelpuud (keskmine, jämedam ja peenem). Mudelpuud langetati servaeefekti vältimiseks puistu keskelt. Peale mudelpuude langetamist mõõdeti nende tüve pikkus, elusvõra algus ja elusvõra pikkus. Tüvi jagati sektsioonideks vastavalt 0–1,3 m, 1,3 m kuni elusvõra algus. Elusvõra alguseks loeti männast, kus oli vähemalt ühel oksal elus okkaid. Elusvõra jaotati omakorda kolmeks võrdseks osaks (võrasektsiooniks) ning laasiti sektsioonide kaupa. Tüve sektsioonid ja eemaldatud oksad kaaluti kohapeal. Iga sektsiooni algusest võeti üks analüüsiketas ning igast võraosast üks mudeloks, mis toimetati

edasiseks töötlemiseks laborisse, kus igalt mudeloksalt eraldati vanemad okkad, jooksva aasta okkad ja jooksva aasta võrsed.

Mudelpuude maa-aluse biomassi määramiseks pesti juurestikud mullast välja surveveega. Väljapestud juurestikud lõigati väiksemateks osadeks, pakiti kilekottidesse ja toimetati edasiseks töötlemiseks samuti laborisse. Kuna antud metoodika ei ole sobiv peenjuurte ($d < 2$ mm) uurimiseks, ei ole antud töös nende biomassi käsitletud.

Pestud juurestikud jaotati järgnevasse fraktsioonidesse: $d < 1$ cm, $1 < d < 5$ cm, $5 < d < 10$ cm, $d > 10$ cm ning känd. Kõik fraktsioonid kaaluti 0,01 g täpsusega ning neist võeti alamproovid kuivmassi ning süsiniku kontsentratsiooni määramiseks. Kuivmassi leidmiseks kuivatati proove kuivatuskapis $+70$ °C juures umbes nädal aega, püsiva massi saavutamiseni ning seejärel kaaluti uuesti. Maapealsete ja maa-aluste fraktsioonide kuivmassi arvutamiseks kasutati alamproovide toor- ja kuivmassi suhet, mis korrutati fraktsioonide toormassiga. Erinevate fraktsioonide kuivmasside summeerimisel saadi mudelpuude kuivmassid.

Leitud tulemuste põhjal koostati regressioonivõrrandid, mis kirjeldasid puude maapealse biomassi ja tüvemassi sõltuvust rinnasdiameetrist. Kasutati allomeetrilist seost üldkujul:

$$y = ax^b \tag{1}$$

kus, y on puu maapealse osa biomass kg;

x – puu rinnasdiameeter cm;

a ja b – võrrandi parameetrid.

Astmefunktsioon kirjeldas kõige paremini puu maapealse osa biomassi ja tüvemassi sõltuvust rinnasdiameetrist (kõigil juhtudel $r > 0,9$). Allomeetrilist seost (1) kasutati erinevate maapealsete ja maa-aluste osade biomassi ja arvutamiseks. Maapealse ja maa-aluse biomassi suhe (*root to shoot ratio*) leiti jagades mudelpuude juurestiku kuivmass maapealse puitunud fraktsioonide (tüvi ja oksad) kuivmassiga (Lõhmus *et al.* 1991; Uri *et al.* 2002). Keskmise aastane tüvemassi juurdekasv (MAI – *mean annual increment*) arvutati jagades keskmise tüvemassi puistu vanusega.

Mudelpuude erinevate fraktsioonide süsiniku sisaldus määrati EMÜ Taimebiokeemia Laboris.

3. TULEMUSED JA ARUTELU

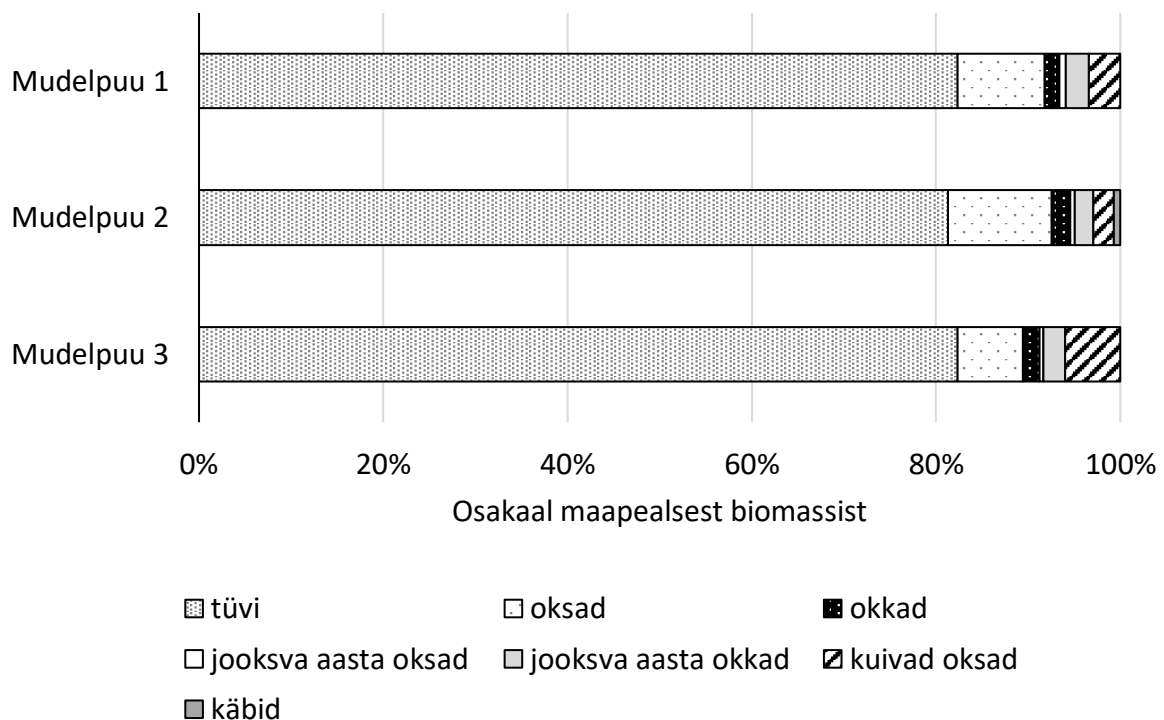
3.1. Mudelpuude biomassi jaotus

Valitud mudelpuude takseernäitajad on esitatud tabelis 2. Esimest ja teist mudelpuud võib kirjeldada kui domineerivat, kolmas mudelpuu on kasvus alla jäänud.

Tabel 2. Analüüsitud hariliku männi mudelpuude parameetrid

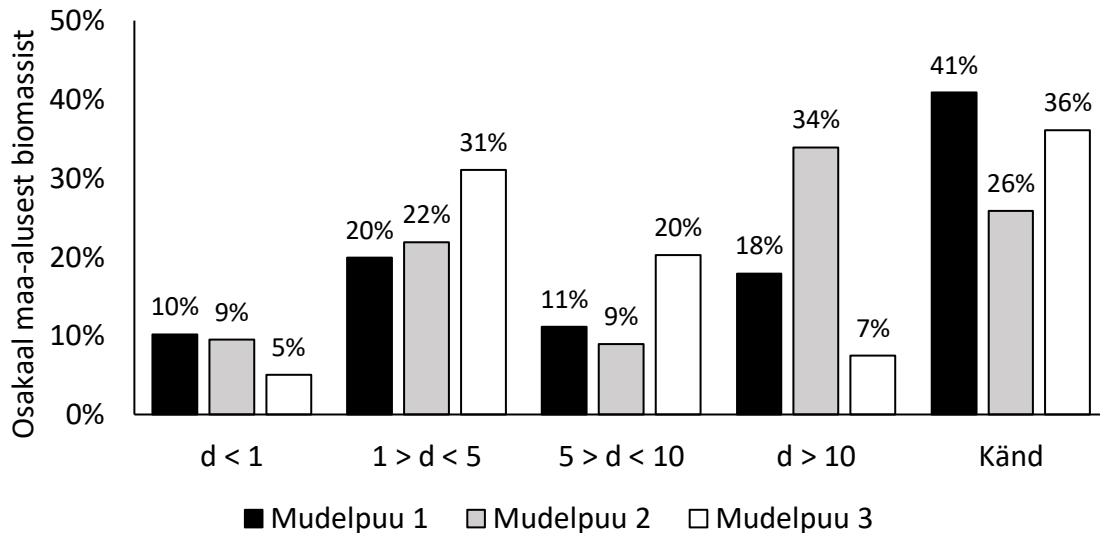
	Rinnasdiameeter, cm	Kõrgus, m	Elusvõra algus, m	Elusvõra pikkus, m
Mudelpuu 1	18,5	18,2	10,6	7,6
Mudelpuu 2	20,5	18,4	10,8	7,6
Mudelpuu 3	13,9	14,8	9,2	5,6

Kõigi kolme puu maapealsed fraktsioonid jagunesid sarnaselt (joonis 1). Kõigil mudelpuudel oli tüvemassi osakaal üle 80% maapealsest biomassist. Kõige väiksema osakaaluga olid esimese aasta okkad, mis moodustasid kõigil mudelpuudel alla ühe protsendi. Jooksva aasta okaste osakaal jäi kõigil uuritud puudel kahe protsendi lähedale.



Joonis 1. Hariliku männi mudelpuude maapealse biomassi fraktsioonijaotus.

Maa-aluse biomassi jagunemises leidis vähem seaduspärasusi kui maapealse osas (joonis 2). Kõigil kolmel mudelpuul oli känd suurima osakaaluga fraktsioon, moodustades 26–41% maa-alusest biomassist.

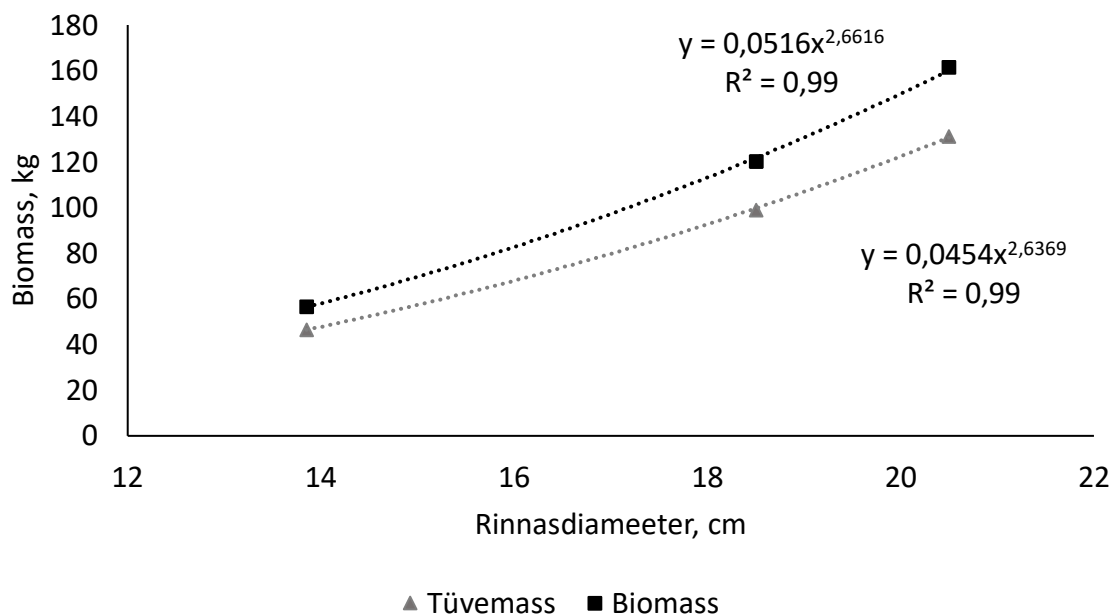


Joonis 2. Maa-aluse biomassi jaotumine fraktsioonidesse.

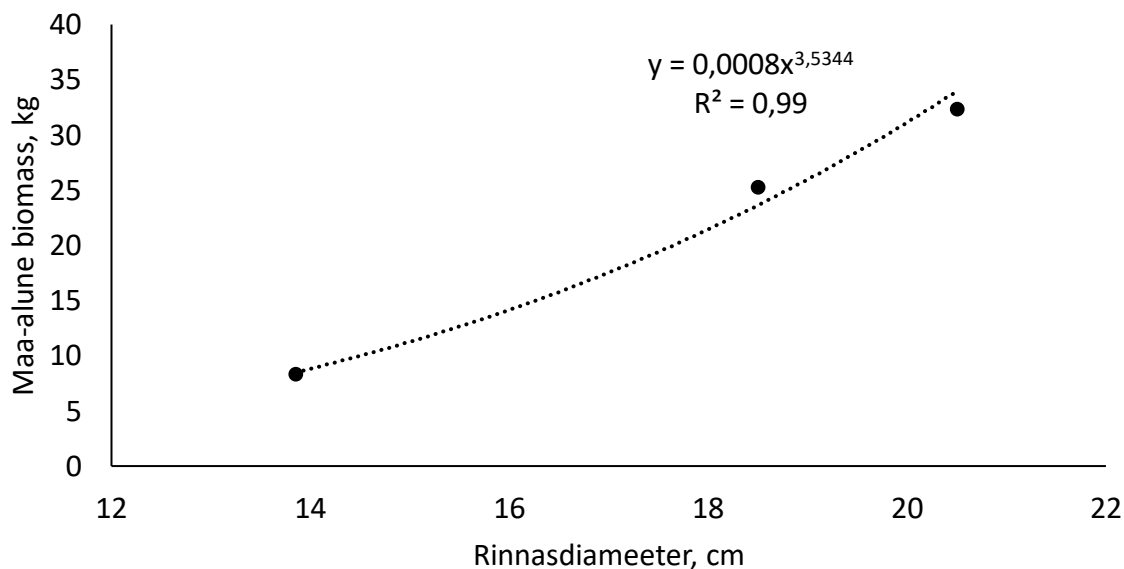
Kõige väiksema osa kõigist mudelpuudest moodustasid alla 1 cm läbimõõduga juured. Suurema läbimõõduga juured (1–5 cm, 5–10 cm ja üle 10 cm) jagunesid mudelpuudel ebakorrapäraselt. Kui esimesel ja teisel mudelpuul moodustasid juured suurusega 1–5 cm ligi viiendiku maa-alusest biomassist siis kolmandal mudelpuul oli selle fraktsiooni osakaal ligi kolmandik kogu maa-alusest biomassist.

3.2. Puistu maapealne ja maa-alune biomass

Mudelpuudel leiti allomeetrilised seosed rinnasdiameetri ja erinevate fraktsioonide (tüvemassi, kogu maapealse biomassi, ja maa-aluse biomassi) vahel (joonised 3 ja 4). Kõikidel leitud regressioonvõrranditel olid kõrged determinatsioonikordajad ($R^2 = 0,99$), st., et seosed puude rinnasdiameetri ja biomassi erinevate osade vahel olid tugevad, samuti olid kõik võrrandid statistiliselt usaldusväärsed ($p < 0,01$)



Joonis 3. Männi mudelpuude rinnasdiameetri ja tüvemassi vaheline seos.



Joonis 4. Männi mudelpuude rinnasdiameetri ja maa-aluse biomassi vaheline seos.

Proovitüki andmete ja saadud regressioonivõrrandite abil arvutati puistu maa-pealse osa biomass (tabel 3), mis oli 132,3 t ha⁻¹. Suurima osakaaluga oli tüvemass, moodustades 82% maa-pealsest biomassist. Järgnes vanade okste fraktsioon, mille biomass oli 12,3 t ha⁻¹ ja osakaal maa-pealsest biomassist 9%. Hinnanguliselt oli käbisid 300 kg hektarile. Belgias tehtud uurimuses leiti 73-aastases männikus tüvemassi osakaaluks 74% maa-pealsest

biomassist (Xiao *et al.* 2003). Eestis on erinevates töödes leitud tüvede osakaal 25–80 aasta vanustes männipuistutes vahemikus 73–87% (Kurvits 1999; Uri 2015; Buht 2017).

Tabel 3. Keskealise männiku maapealse biomassi fraktsioonid

Fraktsioon	t ha⁻¹	%
Tüvi	108,5	82%
Vanad okkad	2,4	2%
Jooksva aasta okkad	3,0	2%
Vanad oksad	12,3	9%
Jooksva aasta oksad	0,7	1%
Kuivad oksad	5,2	4%
Kokku	132,3	100%

Lõhmuse (2004) kohaselt on mustika kasvukohatüübis 100-aastase puistu tüvepuidu tagavaraks keskmiselt 220–350 m³ ha⁻¹. Hariliku männi tüvepuidu keskmist tihedust 470 kg m⁻³ (Saarman, Veibri 2006) kasutades teisendati selles töös leitud tüvemass metsanduses kasutatavatele mahuühikutele ja saadi uuritava puistu tagavaraks 231 m³ ha⁻¹ ning rinnaspindalaks 30,7 m² ha⁻¹. Kuna tegemist on harvendamata puistuga, siis oli ka tagavara ja rinnaslõikepindala kõrged. Metsa majandamise eeskirja (2017, § 6 lg 4) põhjal on harvenduse järgse rinnaspindala alammäär antud puistus 19,5 m² ha⁻¹, mis lubaks teoreetiliseks väljaraieks 84 m³ ha⁻¹.

Keskmiseks aastaseks tüvemassi juurdekasvuks saadi 6,6 m³ ha⁻¹. Üldise näitajana on männi enamusega puistute keskmine juurdekasv riigimetsas 4,4 m³ ha⁻¹ ja erametsas 4,5 m³ ha⁻¹ (Aastaraamat mets... 2017). Käesolevas töös leitud keskmisest kõrgem tootlikkus on tõenäoliselt tingitud kasvukoha headusest, tegu on I boniteedi puistuga. Samuti on üheks faktoriks see, et uuritav puistu on keskealine. Noores eas on biomassi allokatsioon tüvedesse suurem ning vanuse suurenedes see väheneb (Mäkelä 1990). Kriguli (1971) Eesti kunstliku päritolu männipuistute kasvukäigutabelis on MAI 30-aastases puistus 7,4 m³ ha⁻¹, 40-aastases puistus 7,8 m³ ha⁻¹, saavutades maksimumi 50. aastaselt – 8,0 m³ ha⁻¹, ning seejärel vähenedes. Veidi teistsuguse tulemuse sai Karu (2005) oma magistritöös – uuritud Narva karjääri männi kultuurpuistute aegreas leiti, et biomassi juurdekasv hakkas vähenema 25–30 aastaselt. Üheks kasvu aeglustumise põhjuseks on suhtelise okkamassi vähenemine vanusega. Varasemates töödes on leitud lineaarne seos maltspuidu osakaalu ja okkamassi vahel (Vanninen *et al.* 1996; Vanninen, Mäkelä 2000; Vanninen 2004). Kurvits (1999) on leidnud 62-aastases II boniteedi pohlamännikus keskmiseks aastaseks tüvemassi

juurdekasvuks $5,7 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$. Uri (2015) bakalaureusetöös uuritud palumännikutes leiti 25-aastases puistus tüvemassi juurdekasvuks $6,0 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$ ja 45-aastases puistus $7,4 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$, selles töös arvatud tüvemassi juurdekasv 35-aastases puistus sobib hästi varasemate tulemustega.

Puistu kogu maa-alune biomass oli $24,9 \text{ t ha}^{-1}$ (tabel 4), sellest suurima osakaaluga fraktsioonid olid känd ja üle 10 cm läbimõõduga juured. Saadud tulemus on heas kooskõlas ka varasemate töödega (Vanninen *et al.* 1996; Külla 1997; Bårdulis *et al.* 2012), kuna kännul ja kõige jämedamate juurtel on oluline roll puu mehaanilisel toetamisel, siis nende fraktsioonide suur osakaal on ootuspärane.

Tabel 4. Keskealise männiku maa-aluse osa biomassi jagunemine fraktsioonidesse

Fraktsioon	t ha^{-1}	%
$d < 1 \text{ cm}$	2,3	9%
$1 > d < 5 \text{ cm}$	5,5	22%
$5 > d < 10 \text{ cm}$	2,8	11%
$d > 10 \text{ cm}$	6,1	25%
Känd	8,2	33%
Kokku	24,9	100%

Vanninen *et al.* (1996) uurisid kasvukoha viljakuse ja puistu vanuse mõju männikute biomassi jaotumisel viljakamas mustika kasvukohatüübis ja vähem viljakas kanarbiku tüübis. Maa-aluse biomassi juurdekasv väheneb seoses vanuse ja mullaviljakusega (Helmisaari *et al.* 2002; Vanninen, Mäkelä 2005). Kuigi kasvukiirus antud kasvukohtades suuresti erines, leiti et puistu biomassi fraktsioonide suhteline jaotus jälgis sarnast mustrit.

3.3. Mudelpuude maa-aluse ja maapealse biomassi suhtarve

Selleks, et tuletada kergemini mõõdetavast maapealsest biomassist puistu maa-aluse osa biomassi kasutatakse maapealse ja maa-aluse biomassi suhtarvu (*root to shoot ratio*). Varasemates uurimustes (Vanninen *et al.* 1996; Helmisaari *et al.* 2002; Karu 2005) on leitud, et maa-alune biomass on lineaarses seoses maapealse biomassiga. Erinevates töödes on arvatud vastav suhtarv eri meetoditel – kas ainult puitunud maapealsest biomassist või kogu maapealset biomassist (ka okkamassi) arvesse võttes. Seetõttu on järgnevas võrdlustes

kasutatud tulemusi, mis on samal viisil leitud või maa-aluse ja maapealse biomassi suhtarvud on arvutatud kasutades nendes töödes välja toodud andmeid.

Käesolevas töös saadud keskmine maa-aluse ja maapealse biomassi suhe oli 0,19, mis on hästi kokku langev Soomes tehtud uurimusega, kus 35-aastases puistus leitud suhtarv oli 0,20 (Helmisaari *et al.* 2002). Mõlemad uuritavad puistud on küll samas vanuses, kuid puistu parameetrid olid väga erinevad. Käesolevas töös uuritud puistu keskmine rinnasdiameeter oli 15,9 cm ja kõrgus 17,2 m, kuid Soomes uuritud puistus olid vastavad näitajad 7,7 cm ja 6,8 m. Cairns *et al.* (1997) leidsid, et sellised faktorid nagu puistu tihedus, vanus, mullalõimis, keskmine aastane sademete hulk ja temperatuur ei mõjutanud maa-aluse ja maapealset suhtarvu. Teistel andmetel on maa-aluse ja maapealse biomassi suhe korrelatsioonis mitmete faktoritega. Maa-aluse ja maapealse biomassi suhe väheneb seoses vanuse, kõrguse ja keskmise rinnasdiameetriga, see on seotud maapealse biomassi suurenemisega (põhiliselt tüvedesse) puistu arenedes (Snowdon *et al.* 2000). Kuna käesolevas töös pole uuritud peenjuuri, siis pole ka nende osakaalu maa-aluses biomassis arvesse võetud. Kirjanduse andmetel moodustavad peenjuured 2–3% kogu maa-alusest biomassist (Xiao *et al.* 2003; Brunner, Godbold 2007).

Maa-aluse ja maapealse biomassi suhe on suuresti mõjutatud surnud biomassi akumulierumisest tüvemassi (Litton *et al.* 2003), mistõttu on maa-aluse ja maapealse biomassi suhte funktsionaalne tõlgendus keeruline. Kuigi maa-aluse ja maapealse biomassi suhe on ainult üldine indikaator füsioloogiliste protsesside osas, mis mõjutavad süsiniku akumulierumist biomassi, omab see suurt väärtust maa-aluse biomassi hulga hindamisel. (Mokany *et al.* 2006)

Sarnaseid biomassi suhtarve on leitud ka teistes Eestis uuritud puistutes. Hall-lepikutes saadi keskmiseks maa-aluse ja maapealse puitunud biomassi suhteks samuti 0,19 (Uri *et al.* 2009), kaasikutes aga 0,21 (Varik *et al.* 2013). Veidi kõrgem oli see suhe 30. aastastes kuivendatud sookaasikutes – 0,28 (Uri *et al.* 2017). Samas on leitud, et turvasmuldadel kasvavad puud võivadki olla suurema juurestiku osakaaluga, kui need mis kasvavad mineraalmuldadel (Laiho, Finér 1996). Mineraalmuldade võrdluses on täheldatud suuremat suhtarvu liivmuldadel kui savimuldadel. Siinkohal võib üheks subjektiivseks põhjuseks olla meetoodiline eripära – kergetel liivmuldadel on lihtsam juuri koguda, mistõttu võib tulemuseks olla suurem maa-aluse ja maapealse biomassi suhe (Mokany *et al.* 2006).

Juhul, kui maapealne biomass on suurem kui 75 t ha^{-1} soovitab IPCC (2006) boreaalses kliimavöötmes kasutada suhtarvu 0,24, kuid raporteerimisel kasutatavad IPCC väärtused ei erista erinevates arengujärgkudes metsa. Võrreldes käesolevas töös saadud tulemusega on pigem tegu maa-aluse biomassi ülehinnanguga, samal seisukohal on ka Liepiņš *et al.* (2018). Mokany *et al.* (2006) leidsid, et on võimalik saada täpsemaid tulemusi kategoriseerides andmeid maapealse biomassi põhjal.

3.4. Puistus talletunud süsiniku varud

Eesti sotsiaalmajandusliku olukorra tõttu on eelmisel kümnendil LULUCF sektori raporteeritud emisioonid suurtes piirides varieerunud. Peamiseks põhjuseks oli ebastabiilne raieintensiivsus ja raadamine. 2015. aastal on Eesti metsades hinnatud süsinikuvaru suurenemist 2475 kt CO₂ ekv võrra, mis tähendab, et puitse biomassi juurdekasv oli suurem kui süsinikukadu. (Aastaraamat mets... 2017)

Kasvuhoonegaaside raporteerimisel on määratud vaikumisi süsinikusisalduse keskmiseks väärtuseks 50% kuivmassist (Jansons *et al.* 2017), kuid süsiniku väärtused fraktsioonides võivad olla väga varieeruvad. Kasutades fraktsioonile vastavat empiirilist süsiniku sisaldust on võimalik saada oluliselt täpsemaid tulemusi.

EMÜ Taimebiokeemia Laboratooriumis määratud männi erinevate biomassi fraktsioonide süsiniku (C) sisaldus varieerus vahemikus 44,6–51,9 %. Kõige madalama C sisaldusega oli juurestiku fraktsioon diameetrivahemikus 1–5 cm ja kõige suurem oli süsiniku sisaldus kuivades okstes. Karu (2005) magistritöös mõõdetud männi biomassi fraktsioonide süsiniku sisalduse jäi vahemikku 48,4–52,95 %.

Uuritavas puistus puude biomassis talletunud süsiniku varu oli kokku $74,7 \text{ t ha}^{-1}$ (Tabel 5).

Tabel 5. Hariliku männi biomassi fraktsioonides seotud süsiniku hulk

Fraktsioon		C t ha⁻¹
Maapealne biomass	Tüvi	51,5
	Vanad okkad	1,2
	Jooksva aasta okkad	1,5
	Vanad oksad	6,1
	Jooksva aasta oksad	0,3
	Kuivad oksad	2,7
	Käbid	0,1
Maa-alune biomass	d < 1 cm	1,0
	1 > d < 5 cm	2,5
	5 > d < 10 cm	1,3
	d > 10 cm	2,7
	Känd	3,9
Kokku		74,7

Kasutades jooksva aasta okaste ja okste süsiniku hulga hinnangut ning keskmist aastast tüvemassi juurdekasvu, seob antud puistu hinnanguliselt maapealsesse biomassi 3,2 t ha⁻¹, maa-alusesse biomassi 0,3 t ha⁻¹ süsinikku aastas. Olemasolev maapealne ja maa-alune biomass näitab ainult süsiniku esmast sidumist ja ei võta arvesse hingamisel ja biomassi lagunemisel tekkivat süsinikku (Mokany *et al.* 2006).

KOKKUVÕTE

Käesoleva töö eesmärgiks oli hinnata viljakas mustika kasvukohatüübis kasvava keskealise männiku biomassi ja selles akumulunud süsiniku hulka. Antud töös analüüsitud mudelpuude andmed koguti 35-aastasest I boniteedi puistust. Maapealse biomassi hinnangu saamiseks kasutati mudelpuude meetodit, maa-aluse biomassi hinnangud põhinevad väljakaevatud mudelpuude juurestike põhjal.

Uuritud puistu maapealne biomass oli $132,3 \text{ t ha}^{-1}$, millest 82% moodustas tüvemass. Keskmise aastane tüvemassi juurekasv oli $6,6 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$, mis sobib hästi varasemate uurimustulemustega ja näitas puistu kõrget tootlikkust. Puude maa-alune biomass oli $24,9 \text{ t ha}^{-1}$, millest suurima osakaaluga fraktsioonid olid känd ja juured diameetriga üle 10 cm. Arvutatud maa-aluse ja maapealse biomassi suhtarv oli 0,19, mis on lähedane Eesti hall-
leplikute ja arukaasikute vastavale väärtusele. Selles töös saadud maa-aluse ja maapealse biomassi suhe on mõnevõrra väiksem IPCC raporteerimisel kasutatavast suhtarvust. See viitab sellele, et kasutades IPCC suhtarve on tulemuseks sarnaste puistute maa-aluse biomassi üle hindamine.

Antud puistu fraktsioonide süsinikusisaldus varieerus vahemikus 44,6–51,9 %. Kokku oli puude maapealsesse ja maa-aluses biomassi seotud süsinikku $74,7 \text{ t ha}^{-1}$. Aastane süsiniku sidumine maapealsesse biomassi oli $3,2 \text{ t ha}^{-1}$ ja maa-alusesse $0,3 \text{ t ha}^{-1}$.

Antud töö tulemused on Eestis uudsed ja täiendavad seniseid teadmisi männikute maa-alusest biomassist ning neid saab kasutada osana Eesti puistute biomassi mudelite väljatöötamisel.

VIIDATUD ALLIKAD

- Aastaraamat mets 2016. (2017). /Toim. M. Raudsaar, K. L. Siimon, M. Valgepea. Keskkonnaagentuur. 293 lk.
- Addo-Danso, S. D., Prescott, C. E., Smith, A. R.** (2016). Methods for estimating root biomass and production in forest and woodland ecosystem carbon studies: A review. – *Forest Ecology and Management*. Vol 359, pp. 332–351.
- Anniste, J.** (1997). Okkamassi hulga ja jaotuse määramine puhtmännikutes. – *Metsandus. Teadustööde kogumik*, 189, lk 168–201. /Koost. K. Kiviste. Eesti Põllumajandusülikool. Metsandusteaduskond. Tartu. 276 lk.
- Aosaar, J., Varik, M., Lõhmus, K., Ostonen, I., Becker, H., Uri, V.** (2013). Long-term study of above- and below-ground biomass production in relation to nitrogen and carbon accumulation dynamics in a grey alder (*Alnus incana* (L.) Moench) plantation on former agricultural land. – *European Journal of Forest Research*. Vol 132 (5-6), pp. 737–749.
- Bārdulis A, Jansons Ā, Liepa I.** (2012). Below-ground biomass production in young stands of Scots pine (*Pinus sylvestris* L.) on abandoned agricultural land. – *Research for Rural Development. Annual 18th International Scientific Conference Proceedings*. Jelgava, Vol. 2, pp. 49–54.
- Bormann, B. T., Gordon, J. C.** (1984). Stand density effects in young red alder plantations: productivity, photosynthate partitioning and nitrogen fixation. – *Ecology*. Vol 65, pp. 394–402.
- Buht, M.** (2017). Süsiniku varud erineva vanusega mustika kasvukohatüübi männikute (*Pinus sylvestris*) maapealses biomassis. Bakalaureusetöö. Tartu. 24 lk.
- Brunner, I., Godbold, D. L.** (2007) Tree roots in changing world. – *Journal of Forest Research*. Vol 12, pp. 78–82.
- Cairns, M. A., Brown S., Helmer E. H., and Baumgardner G. A.** (1997). Root biomass allocation in the world's upland forests. – *Oecologia*. Vol 111, pp. 1–11.
- Dougherty, R. M., Whitehead, D., Vose, J.M.** (1994). Environmental influences on the phenology of pine. – *Ecological Bulletins*. Vol 43, pp. 64–75.
- Dewar, R. C., Ludlow, A. R., Dougherty, P. M.** (1994). Environmental Influences on Carbon Allocation in Pines. Environmental Constraints on the Structure and Productivity of Pine Forest Ecosystems: A Comparative Analysis. – *Ecological Bulletins*. Vol 43, pp. 92–101.
- Dixon, R. K., Brown, S., Houghton, R. A., Solomon, A.M, Trexler, M.C, Wisniewski, J.** (1994) Carbon pools and flux of global forest ecosystems. – *Science*. Vol 263, pp. 185–190.

- Eissenstat, D. M., Van Rees, K. C. J.** (1994). The Growth and Function of Pine Roots. Environmental Constraints on the Structure and Productivity of Pine Forest Ecosystems: A Comparative Analysis. – *Ecological Bulletins*. Vol 43, pp. 76–91.
- Fogel, R.** (1983). Root turnover and productivity of coniferous forests. – *Plant Soil*. Vol 71, pp. 75–85.
- Forest area (sq. km). World Bank Open Data. <https://data.worldbank.org/> (14.02.2018)
- Gower, S. T., Gholz, H. L., Nakane, K., Baldwin, V. C.** (1994). Production and carbon allocation patterns of pine forests. – *Ecological Bulletins*. Vol 43, pp. 115–135.
- Greenhouse gas emissions in Estonia 1990–2015 National Inventory Report. (2015). Keskkonnaministeerium. 564 lk.
- http://www.envir.ee/sites/default/files/nir_est_1990-2015_15012017_draft.pdf (12.02.2018)
- Green, E., Tobin, B., O'Shea, M., Farrell, E. P., Byrne, K. A.** (2007). Above- and belowground biomass measurements in an unthinned stand of Sitka spruce (*Picea sitchensis* (Bong) Carr.). – *European Journal of Forest Research*. Vol 126, pp. 179–188.
- Helmisaari H. S, Makkonen K, Kellomäki S, Valtonen E, Mälkönen E.** (2002). Below- and above-ground biomass, production and nitrogen use in Scots pine stand in eastern Finland. – *Forest Ecology Management*. Vol 165, pp. 317–326.
- IPCC** (2006). 2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories. Volume 4: Agriculture, Forestry and Other Land Use. /Autors: Aalde, H., Gonzalez, P., Gytarsky, M., Krug, T., Kurz, W. A., Ogle, S., Raison, J., Schoene, D., Ravindranath, N. H., Elhassan, N. G., Heath, L. S., Higuchi, N., Kainja, S., Matsumoto, M., Sánchez, M. J. S., Somogyi, Z. Contributing Authors Carle, J. B., Murthy, I. K. Hayama: Institute of Global Environmental Strategies (IGES). 83 p.
- Jackson, R. B., Canadell, J., Ehleringer, J.R., Mooney, H. A., Sala, O. E., Schulze, E. D.** (1996). A global analysis of root distributions for terrestrial biomes. – *Oecologia*. Vol 108, pp. 389–411.
- Jansson, R., Nilsson, C., Keskitalo, E. C. H., Vlasova, T., Sutinen, M.-L., Moen, J., Chapin III, F., Bråthen, K., M. Cabeza, M., Callaghan, T. V., Van Oort, B., Dannevig, H., Bay-larsen, I. A., Ims, R. A., Aspholm, P.** (2015). Future changes in the supply of goods and services from natural ecosystems: prospects for the European north. – *Ecology and Society*. Vol 20(3), art. 32.
- Jansons, Ā., Bārdulis, A., Kēniņa, L., Lazdiņa, D., Džeriņš, E., Kāpostiņš, R.** (2017). Carbon content of below-ground biomass of young Scots pines in Latvia. – *Agronomy Research*. Vol 15(5), pp. 1897–1905.
- Kalliokoski, T., Nygren, P., Sievänen, R.** (2008). Coarse root architecture of three boreal tree species growing in mixed stands. – *Silva Fennica*. Vol 42(2), pp. 189–210.
- Karu, H.** (2005). Süsiniku akumulatsioon Narva karjääri männikultuuride aegreas. Magistritöö. Tartu Ülikooli Botaanika ja ökoloogia instituut. Rakendusökoloogia õppetool. Tartu. 62 lk.

- Kenina L, Bārdulis A, Matisons R, Kapostins R, Jansons A.** (2018). Belowground biomass models for young oligotrophic Scots pine stands in Latvia. – *iForest*. Vol 11, pp. 206–211.
- Kliimapolitiika põhialused aastani 2050. Metsanduse, maakasutuse ja selle muutuste valdkonna mõjude hindamine vaheseisuga 25.02.2016. (2016). Keskkonnaministeerium
https://www.envir.ee/sites/default/files/kpp_lulucf_sektori_mijude_hindamise_seletuskiri_25.02.pdf (03.01.2018)
- Knight, D. H., Vose, J. M., Baldwin, V. C., Ewel, K. C., Grodzinska, K.** (1994). Contrasting patterns in pine forest ecosystems. – *Ecological Bulletins*. Vol 43, pp. 9–19.
- Krigul, T.** (1971). Metsataksaatori teatmik. Tartu, Eesti Põllumajanduse Akadeemia. 150 lk.
- Kurvits, V.** (1999). Puurinde produktiooni määramine ja jaotus keskealises pohlamännikus. – *Metsanduslikud uurimused*. Nr 31, lk. 84–89.
- Külla, T.** (1997). Keskealise männiku ja kuusiku maapealse ja maa-aluse osa struktuur. Eesti Põllumajandusülikool. Metsakasvatuse instituut. 100 lk.
- Laas, E.** (1987). Dendroloogia. Tallinn. Valgus. 824 lk.
- Laas, E.** (2004). Okaspuud. Tartu. Atlex. 359 lk.
- Laiho, R., Finér, L.** (1996). Changes in root biomass after water-level drawdown on pine mires in southern Finland. – *Scandinavian Journal of Forest Research*. Vol 11, pp. 251–260.
- Liepiņš, J., Lazdiņš, A., Liepiņš, K.** (2018). Equations for estimating above- and belowground biomass of Norway spruce, Scots pine, birch spp. and European aspen in Latvia. – *Scandinavian Journal of Forest Research*. Vol 33, pp. 58–70.
- Litton, C. M., Ryan, M. G., Tinker, D. B., Knight, D. H.** (2003). Belowground and aboveground biomass in young postfire lodgepole pine forests of contrasting tree density. – *Canadian Journal of Forest Research*. Vol 33, pp. 351–363.
- Lõhmus, K., Lasn, R., Oja, T.** (1991). The influence of climatic and soil physical conditions on growth and morphology of Norway spruce roots. In: McMichael, B.L. and Persson H. (Eds.), *Plant roots and their environment*. Elsevier, Amsterdam, pp. 233–239.
- Lõhmus, K., Mander, Ü., Tullus, H., Keedus, K.** (1996). Productivity, buffering capacity and resources of grey alder forests in Estonia. In: Perttu, K., Koppel, A. (eds.). *Short rotation willow coppice for renewable energy and improved environment*. Uppsala, pp. 95–105.
- Lõhmus, E.** (2004). Eesti metsakasvukohatüübid. EPMÜ Metsanduslik Uurimisinstituut. Tartu. Eesti loodusfoto. 80 lk.
- Meinshausen, M., Meinshausen, N., Hare, W., Raper, S. C. B., Frieler, K., Knutti, R., Frame, D. J., Allen, M. R.** (2009). Greenhouse-gas emission targets for limiting global warming to 2 °C. – *Nature*. Vol 458, pp. 1158–1162.
- Metsa majandamise eeskiri. (vastu võetud 27.12.2006, muudetud, täiendatud, viimati jõustunud 18.12.2017). – *Riigi Teataja* <https://www.riigiteataja.ee/akt/115122017017?leiaKehtiv> (26.04.2018).

- Mokany, K., Raison, R. J., Prokushkin, A. S.** (2006). Critical analysis of root:shoot ratios in terrestrial biomes. – *Global Change Biology*. Vol 12, pp. 84–96.
- Mäkelä, A.** (1990). Adaptation of light interception computations to stand growth models. – *Silva Carelica*. Vol 15, pp. 221–239.
- Parmesan, C., Yohe, G.** (2003). A globally coherent fingerprint of climate change impacts across natural systems. – *Nature*. Vol 421, pp. 37–42.
- Pikk, J., Kask, R.** (2014). Männipuidu ehitus ja omadused. Lk 154–189. Mänd Eestis. Koostaja ja toimetaja: Malle Kurm. Tartu: Eesti Maaülikool. Valli Press OÜ. 521 lk.
- Report pursuant to Articles 13 and 14 of Regulation (EU) 525/2013 Estonia. (2017). /Koost. Eesti Keskkonnauuringute Keskus.
http://www.envir.ee/sites/default/files/kasvuhoonegaaside_poliitikaid_meetmeid_ja_prognoos_e_kasitlev_aruanne_15.03.2017.pdf (05.01.2018)
- Ravindranath, N. H., Ostwald, M.** (2008). Carbon Inventory Methods. Handbook for Greenhouse Gas Inventory, Carbon Mitigation and Roundwood Production Projects. Springer Netherlands. 306 p.
- Saarman, E., Veibri, U.** (2006). Puiduteadus. Tartu: Eesti Metsaselts. Valli Press OÜ. 560 lk.
- Santantonio, D., Hermann R. K., Overton W. S.** (1977). Root biomass studies in forest ecosystems. – *Pedobiologia*. Vol 17, pp. 1–31.
- Schoettle, A. W., Fahey, T. J.** (1994). Foliage and fine root longevity of pines. – *Ecological Bulletins*. Vol 43, pp. 136–153.
- Seemen, H., Jäärats, A.** (2014). Männikute uuenemisest ja uuendamisest. Lk 56 – 105. Mänd Eestis. Koostaja ja toimetaja: Malle Kurm. Tartu: Eesti Maaülikool. Valli Press OÜ. 521 lk.
- Sibul, I.** (2014) Männi üldiseloomustus. Lk 18–54. Mänd Eestis. Koostaja ja toimetaja: Malle Kurm. Tartu: Eesti Maaülikool. Valli Press OÜ. 521 lk.
- Sinnot, E. W.** (1960). Plants Morphogenesis. McGraw-Hill. New York. 550 p.
- Snowdon, P., Eamus D., Gibbons P., Khanna, P., Keith, H., Raison, J., Kirschbaum, M.** (2000). Synthesis of Allometrics, Review of Root Biomass and Design of Future Woody Biomass Sampling Strategies (NCAS Technical Report 17). Australian Greenhouse Office, Canberra.
- Sutton, R. F.** (1980). Root System Morphogenesis. – *New Zealand Journal of Forest Science*. Vol 10 (1), pp. 264–292.
- Tullus, H.** (2014). Hooldus- ja turberaied männikutes. Lk 190–290. Mänd Eestis. Koostaja ja toimetaja: Malle Kurm. Tartu: Eesti Maaülikool. Valli Press OÜ. 521 lk.
- Uri, M.** (2015). Süsiniku varud erineva vanusega palumännikutes. Bakalaureusetöö. Eesti Maaülikool. Metsandus- ja maaehitusinstituut. Tartu. 24 lk.
- Uri, V., Tullus, H., Lõhmus, K.** (2002). Biomass production and nutrient accumulation in short-rotation grey alder (*Alnus incana* (L.) Moench) plantation on abandoned agricultural land. – *Forest Ecology and Management*. Vol 161 (1–3), pp. 169–179.

- Uri, V., Lõhmus, K., Kiviste, A., Aosaar, J.** (2009). The dynamics of biomass production in relation to foliar and root traits in a grey alder (*Alnus incana* (L.) Moench) plantation on abandoned agricultural land. – *Forestry*. Vol 82, pp. 61–74.
- Uri, V., Varik, M., Aosaar, J., Kanal, A., Kukumägi, M., Lõhmus, K.** (2012). Biomass production and carbon sequestration in a fertile Silver birch (*Betula pendula* Roth) forest chronosequence. – *Forest Ecology and Management*. Vol 267, pp. 117–126.
- Uri, V., Kukumägi, M., Aosaar, J., Varik, M., Becker, H., Morozov, G., Karoles, K.** (2017). Ecosystems carbon budgets of differently aged downy birch stands growing on well-drained peatlands. – *Forest Ecology and Management*. Vol 399, pp. 82–93.
- Vanninen, P., H. Ylitalo, R. Sievänen, Mäkelä, A.** (1996). Effects of age and site quality on the distribution of biomass in Scots pine (*Pinus sylvestris* L.). – *Trees*. Vol 10, pp. 231–238.
- Vanninen, P., Mäkelä, A.** (2000). Allocation of growth between needle and stemwood production in Scots pine (*Pinus sylvestris* L.) trees of different age, size and competition. – *Tree Physiology*. Vol 8, pp. 527–533.
- Vanninen, P.** (2004). Allocation of above-ground growth in *Pinus sylvestris* – impacts of tree size and competition. – *Silva Fennica*. Vol 38(2), pp. 155–166.
- Vanninen, P., Mäkelä, A.** (2005). Carbon budget for Scots pine trees: effects of size, competition and site fertility on growth allocation and production. – *Tree Physiology*. Vol 25, pp. 17–30.
- Vapaavuori, E. M., Rikala, R. and Ryyppö, A.** (1992). Effects of root temperature on growth and photosynthesis in conifer seedlings. – *Tree Physiology*. Vol 10, pp. 217–230.
- Varik, M., Aosaar, J., Ostonen, I., Lõhmus, K. & Uri, V.** (2013). Carbon and nitrogen accumulation in belowground tree biomass in a chronosequence of silver birch stands. – *Forest Ecology and Management*. Vol 302, pp. 62–70.
- Victor D. G., Zhou, D., Ahmed, E. H. M., Dadhich, P. K., Olivier, J. G. J., Rogner, H.-H., Sheikho, K., Yamaguchi, M.** (2014) Introductory Chapter. In: *Climate Change 2014: Mitigation of Climate Change. Contribution of Working Group III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA. Cambridge University Press. 42 p.
- Walther, G.-R., Post, E., Convey, P., Menzel, A., Parmesan, C., Beebee, T. J. C., Jean-Marc Fromentin, J.-M., Hoegh-Guldberg, O., Bairlein, F.** (2002). Ecological responses to recent climate change. – *Nature*. Vol 416, pp. 389–395.
- WMO (World Meteorological Organization).** (2017). GREENHOUSE GAS BULLETIN. The State of Greenhouse Gases in the Atmosphere Based on Global Observations through 2016. No. 13.
- Xiao, C. W., Yuste, J. C., Janssens, I. A., Roskams, P., Nactergale, L., Carrara, A., Sanchez, B. Y., Ceulmans, R.** (2003). Above- and belowground biomass and net primary production in a 73-year-old Scots pine forest. – *Tree Physiology*. Vol 23, pp. 505–516.

Ванин, С. И. (1949). Древесиеведение. Москва. 472 с, viidatud: Pikk, J., Kask, R. (2014). Männipuidu ehitus ja omadused. Lk 154–189. Mänd Eestis. Koostaja ja toimetaja: Malle Kurm. Tartu: Eesti Maaülikool. Valli Press OÜ. 521 lk vahendusel.

LISAD

Lisa 1. Lihtlitsents lõputöö salvestamiseks ja üldsusele kättesaadavaks tegemiseks ning juhendajate kinnitus lõputöö kaitsmisele lubamise kohta

Mina, Doris Silm,
sünniaeg 12.06.1992,

1. annan Eesti Maaülikoolile tasuta loa (lihtlitsentsi) enda koostatud lõputöö
Hariliku männi (*Pinus sylvestris* L.) maapealne ja maa-alune biomass ja sellesse seotud
süsinikuvaru mustika kasvukohatüübis,

mille juhendajad on Veiko Uri, Mats Varik

1.1. salvestamiseks säilitamise eesmärgil,

1.2. digiarhiivi DSpace lisamiseks ja

1.3. veebikeskkonnas üldsusele kättesaadavaks tegemiseks

kuni autoriõiguse kehtivuse tähtaja lõppemiseni;

2. olen teadlik, et punktis 1 nimetatud õigused jäävad alles ka autorile;

3. kinnitan, et lihtlitsentsi andmisega ei rikuta teiste isikute intellektuaalomandi ega
isikuandmete kaitse seadusest tulenevaid õigusi.

Lõputöö autor _____
(allkiri)

Tartu, _____
(kuupäev)

Juhendajate kinnitus lõputöö kaitsmisele lubamise kohta

Luban lõputöö kaitsmisele.

(juhendaja nimi ja allkiri)

(kuupäev)

(juhendaja nimi ja allkiri)

(kuupäev)